

УДК 504.75: 622

**Ю.В. Піцик,  
А.Г. Шишацький, канд. техн. наук, старш. наук.  
співроб.**

Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара, м. Дніпропетровськ, Україна, e-mail: Juliya.P.83@mail.ru

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБРОБКИ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ ДЛЯ ЗНЕПИЛЕННЯ ПОВІТРЯ

**Yu.V. Pitsyk,  
A.G. Shishatskyi, Cand. Sci. (Tech.), Senior Research  
Fellow**

Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: Juliya.P.83@mail.ru

## RESEARCH OF PARAMETERS OF BULK SOLIDS PROCESSING BY SURFACE-ACTIVE SUBSTANCE FOR AIR DEDUSTING

**Мета.** Оптимізація параметрів застосування водних розчинів поверхнево-активних речовин (ПАР) для зменшення викидів пилу в атмосферне повітря.

**Методика.** При проведенні досліджень використані теоретичні та експериментальні методи, зокрема: аналіз існуючих методів вивчення об'єкту досліджень, фізичне моделювання, методи математичної статистики, апробація у промислових умовах.

**Результати.** Розроблений лабораторний стенд для визначення сили адгезії при обробці сипучих матеріалів розчинами ПАР. Показано, що величина сили адгезії, тобто „злипання“ сипучих матеріалів, залежить від питомих витрат ПАР, причому було виявлено наявність чіткого оптимуму цих витрат. Експериментальними дослідженнями на лабораторному стенді встановлено, що для аглошихти, відібраної на аглофабриці ПАТ „АрселорМіттал Кривий Ріг“, оптимальні витрати ПАР становили 70–80 г/т. Ці дані підтверджені результатами досліджень запилення аглогазів при спіканні аглошихти на стандартному лабораторному стенді та безпосередньо на аглофабриці вказаного підприємства. Даний метод рекомендується для використання при визначенні параметрів обезпилення повітря за допомогою застосування водних розчинів ПАР. Зменшення концентрації пилу в технологічних процесах роботи аглофабрики підвищує екологічну безпеку індустриальних регіонів з розвинутою металургійною та гірничодобуваною галузями промисловості.

**Наукова новизна.** Розроблений метод визначення роботи адгезії на лабораторному стенді. Визначені оптимальні параметри обробки сипучих матеріалів водними розчинами ПАР.

**Практична значимість.** Результати досліджень пропонується використовувати як методичну основу при встановленні параметрів, виборі засобів та способів, розробці технологій та технічних засобів обезпилення повітря при технологічних процесах отримання, використання та переробки сипучих матеріалів.

**Ключові слова:** *запиленість, поверхнево-активні речовини, грудкування, аглошихта, адгезія*

**Вступ.** Проблема боротьби із запиленням атмосферного повітря в наш час є досить актуальною. Незважаючи на вдосконалення технологій знепилення газових викидів підприємств, концентрація пилу в повітрі робочої зони, а також запиленість атмосферного повітря у промислових містах залишається досить високою, особливо в регіонах інтенсивного розвитку гірничо-металургійної галузі.

У чисельних технологічних процесах забезпечити зменшення викидів пилу можливо шляхом обробки сипучих матеріалів розчинами поверхнево-активних речовин (ПАР). Ефективність знепилення атмосферного повітря залежить від параметрів обробки сипучих матеріалів цими розчинами. У багатьох випадках сипучі матеріали є полідисперсними та багатокомпонентними, тому встановлення параметрів обробки вимагає в кожному окремому випадку трудомістких лабораторних та промисло-

вих досліджень. При цьому результати цих досліджень не завжди достатньо достовірні.

**Аналіз останніх досліджень.** Серед потужних джерел забруднення атмосферного повітря пилом в індустріальних регіонах України виділяють виробництво агломерату на металургійних підприємствах. Виконані численні дослідження, у тому числі й авторами цієї роботи, показали, що надходження пилу в аглогази відбувається, в основному, у процесі спікання аглошихти на стрічках аглофабрик [1, 2].

Дослідження динаміки надходження пилу до аглогазів упродовж стрічки спікання показує, що інтенсивність виносу пилу з аглошихти, у значній мірі, залежить від ступеню її грудкування в барабанах-грудковачах. Наявність неогрудкованих дрібних фракцій аглошихти викликає інтенсивний їх винос із шару аглошихти на початку аглострічки та погіршення процесів спікання в її кінці, що супроводжується збільшенням аеродинамічного опору шару агломерату та підвищенням виносом пилу. Зменшити надходження пилу до аглогазів та покращити технологічні показники агломераційних процесів можливо на основі підвищення якості грудкування аглошихти перед її спіканням.

Аналіз процесів грудкування аглошихти показує, що в його основі знаходяться механізми агрегації окремих частинок шихти, за якими в техніці оцінки стану сипучих матеріалів закріпився термін „злипання“. Механізм злипання сипучих матеріалів досить складний. На ступінь злипання, у першу чергу, впливає вологість сипучих матеріалів. Вкриті плівкою води окремі частки сипучого матеріалу в більшій мірі утворюють агрегати, злипаються, чим недостатньо вологі. Абсолютно сухі сипучі матеріали взагалі не агрегуються. З метою інтенсифікації процесів грудкування аглошихти, її вологість за допомогою зрошення доводять приблизно до 8–10 %.

Як показала практика грудкування обробленої водою аглошихти в „барабанах-грудковачах“, значна доля дрібних фракцій матеріалу шихти не приймає участі у грудкуванні, надходить на стрічку спікання агломашин, звідки у вигляді пилу поступає до аглогазів. Це обумовлено як недостатньою рівномірністю зволоження матеріалу аглошихти водою, так і недоліками самого механізму фізико-хімічних процесів, що протікають при застосуванні води для зволоження сипучих матеріалів та їх грудкування.

В основі злипання зволжених сипучих матеріалів знаходяться процеси адгезії. Підвищити якість злипання (у нашому випадку – грудкування) сипучих матеріалів можна шляхом зменшення роботи адгезії. Для зменшення роботи адгезії при обробці сипучих матеріалів рідиною нами запропоновано застосовувати водні розчини поверхнево-активних речовин (ПАР). Застосування ПАР для зменшення роботи адгезії у процесах грудкування аглошихти засновано на наступних їх фізико-хімічних властивостях: зниження поверхневого натягу їх розчинів на межі розподілу фаз та зменшення крайового кута змочення твердих поверхонь цими розчинами.

Робота адгезії тим більша, чим є більшим поверхневий натяг вихідних компонентів. З іншого боку, робота адгезії залежить від крайового кута змочування відповідного твердого тіла рідиною. У цілому робота адгезії записується рівнянням [3]

$$W_a = \sigma_{p.g.} \cdot (1 + \cos \theta), \quad (1)$$

де  $\sigma_{p.g.}$  – поверхневий натяг рідини на межі „рідина-газ“, Дж/м<sup>2</sup>;  $\theta$  – крайовий кут змочування рідиною поверхні твердого тіла, град.

**Постановка завдання.** Ця робота присвячена боротьбі із запиленням атмосферного повітря шляхом обробки сипучих матеріалів розчинами ПАР. Для підвищення ефективності знепилення необхідно визначити оптимальні параметри цієї обробки з точки зору поліпшення грудкування сипучих матеріалів та зменшення сили адгезії.

**Виклад основного матеріалу.** Теоретично визначити роботу адгезії під час досить складно. Це, поперше, викликано наявністю шорсткості поверхневого шару твердої фази та її полідисперсністю, по-друге, дисперсна тверда фаза під час складається з різноманітних матеріалів, для кожного з яких крайовий кут змочування буде різним. На наш погляд, роботу адгезії та адгезійну міцність можливо визначити при безпосередньому розриві (руйнуванні) відповідного з'єднання. На можливість визначення роботи адгезії непрямими методами вказується в ряді наукових робіт [3].

З метою визначення роботи адгезії нами розроблений лабораторний стенд, на якому робота адгезії оцінювалась на основі визначення роботи, що витрачалася на розрив зліпленого сипучого матеріалу. При розробці лабораторного стенду нами використані ідеї, викладені в роботі П.А. Кузова, а також покладені в основу при створенні приладу Є.І. Андріанова, в якому зусилля розриву зліпленого пилу фіксувалось за допомогою ступеню розтягування каліброваної пружини. Цей метод має декілька недоліків. По-перше, визначення модуля пружності при калібровці пружин у широкому діапазоні зусиль їх розтягування викликає деякі складності. По-друге, прилад на основі використання пружин має недостатню точність, для чого авторами розробки пропонується використання декількох каліброваних пружин з різними модулями пружності. Для визначення зусиль розриву зліпленого матеріалу нами запропоновано використання електронних ваг з точністю вимірів 0,1 г. Схема лабораторного стенду наведена на рис. 1.

Принцип визначення роботи адгезії на лабораторному стенді наступний. Основна частина стенду – це нерухомий стакан 1 і рухомий стакан 2. Внутрішній діаметр кожного становив 25 мм, а висота 30 мм. Нерухомий стакан мав дно, рухомий стакан являв собою циліндр. Нерухомий і рухомий стакани склались в одне ціле так, що вісі їх співпадали. Із цією метою на нерухомому стакані знаходились центрувальні виступи. Контакт матеріалу стаканів був мінімальний, для чого на рухомому стакані в місці контакту із зовні циліндру була знята фаска.

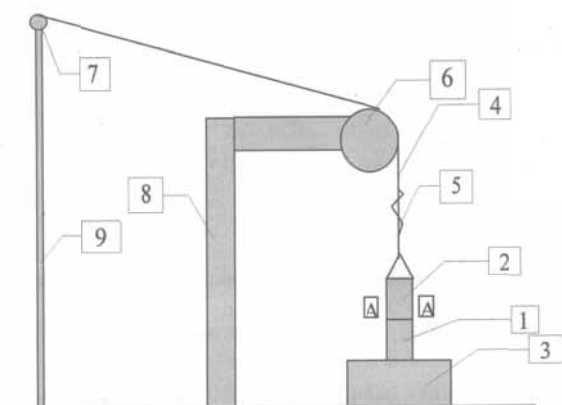


Рис. 1. Лабораторний стенд для визначення роботи адгезії: 1 – нерухомий стакан; 2 – рухомий стакан; 3 – електронні ваги; 4 – канат; 5 – демпфіруюча пружина; 6 – центруючий шків; 7 – шків намотування канату; 8, 9 – стійки; А-А – лінія контакту стаканів

У складені стакани засипався оброблений відповідною рідиною сипучий матеріал. Зверху на матеріал розміщався вантаж, що створював стиснення із зусиллям 750 Па. Матеріал під вантажем витримувався протягом 5 хв, після чого вантаж видалявся.

Стакани зі стиснутим матеріалом ставили на електронні ваги 3, що дозволяли визначити вагу розміщених на них предметів з точністю до 0,1 г. За допомогою канату 4, через шківів 6 і 7, здійснювалось повільне підймання верхнього стакану до моменту розриву нижнього та верхнього стаканів. За допомогою електронних ваг визначалася сила (F), затрачена на розривання сипучого матеріалу

$$F = (m_p - m_0) \cdot g, \quad (2)$$

де  $m_p$  – показання електронних ваг у момент розриву матеріалу, г;  $m_0$  – вага верхнього стакану з „відірваним“ матеріалом, г;  $g$  – прискорення вільного падіння, що дорівнює 9,81 м/с<sup>2</sup>.

Визначалась сила роботи адгезії

$$F_a = \frac{F}{S}, \quad (3)$$

де  $S$  – площа розриву сипучого матеріалу за поперечним перетином „А-А“, м<sup>2</sup>.

Слід відзначити, що, для зручності вимірів, нами після встановлення стаканів на електронні ваги їх показання „обнулялися“, а фіксація значень  $m_p$  і  $m_0$  здійснювалась за показниками „втрати“ ваги матеріалу під час його підймання. Швидкість підймання верхнього стакану за допомогою канату складала 1 мм/с. Для зменшення впливу можливих динамічних значень

швидкості на канаті 4 встановлювалась демпфіруюча пружина 5.

Маса сипучого матеріалу в стакані становила 25 г. Висота шару сипучого матеріалу у верхньому стакані після стиснення становила 10 мм.

Відбір проб аглошихти для дослідження здійснювався безпосередньо зі штабелю рудного двору аглоцеху ВАТ „АрселорМіттал Кривий Ріг“. Розрахунковий склад штабелю, згідно з даними аглодоменної лабораторії даного підприємства, наведений у таблиці.

Таблиця

Розрахунковий склад штабелю аглошихти

№ з/п	Вид сировини	Вологість компонентів сировини, %	Витрати комп. аглошихти, кг/т.
1	аглоруда	4,70	114,14
2	концентрат	8,93	351,93
3	шлак	17,80	85,32
4	відсів	4,96	226,55
5	пил колошн.	11,30	26,15
6	окалина	2,50	56,02
7	ОТС	15,00	14,20
8	Мп-шлак	10,50	7,59
9	вапно	0,00	18,77
10	шлак сталепл.	3,40	29,26
11	вапн. пил	0,00	5,54
12	вапняк	2,10	40,19
13	торф	25,00	11,30
14	паливо	6,50	28,17

Для дослідження роботи адгезії при обробці сипучих матеріалів розчинами ПАР нами використовувався піноутворювач ТЕАС. Концентрація цієї ПАР у розчинах для обробки становила: 0,02; 0,05; 0,06; 0,08; 0,1 та 0,15%, що відповідало питомим витратам ПАР : 20; 50; 60; 80; 100 та 150 г/т., загальна вологість шихти складала 10%. Визначення сили адгезії для кожної з вибраних концентрацій ПАР у розчинах здійснювалось не менше 10 раз. Розбіжність між отриманими даними зусиль розриву при кожній концентрації складала не більше 5–10%.

Отримані нами результати вимірювання сили адгезії наведено на рис. 2.

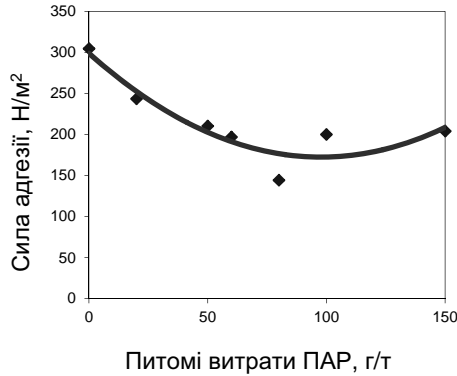


Рис. 2. Залежність сили адгезії від витрат ПАР

Як видно з рис. 2, найменші значення сил адгезії спостерігаються при обробці аглошихти розчинами ПАР з питомими витратами 70–80 г/т., що є передумовою вважати ці витрати ПАР оптимальними з точки зору інтенсифікації процесів грудкування аглошихти в барабанах-грудкувачах аглофабрик.

Виконані нами дослідження грудкування аглошихти на лабораторному стенді ВАТ „АрселорМіттал Кривий Ріг“ показали наявність впливу питомих витрат ПАР на процеси грудкування аглошихти та інтенсивність надходження пилу з аглогазами при її спіканні [1]. Окрім цього, нами були проведені промислові випробування системи обробки аглошихти розчинами ПАР безпосередньо на аглофабриці ПАТ „АрселорМіттал Кривий Ріг“ [4]. Комплекс цих досліджень дозволив визначити оптимальні питомі витрати ПАР на обробку сипучих матеріалів з точки зору процесів грудкування та заповнення аглогазів. Причому, оптимальний для процесів агломерації гранулометричний склад фракцій огрудкованої аглошихти спостерігався при значеннях питомих витрат ПАР близьких до значень, що відповідають одержаним при наших дослідженнях найменшим силам адгезії.

Як вказувалось вище, однією з важливих проблем у процесах агломерації є інтенсивний винос пилу з аглогазами до навколишнього середовища. Виконаними дослідженнями заповнення аглогазів, що видалялись від лабораторного стенду при спіканні обробленої розчинами ПАР аглошихти, встановлено, що інтенсивність викидів пилу до атмосфери у значній мірі залежить від питомих витрат ПАР.

На рис. 3 наведена залежність концентрації пилу в аглогазах, що видаляються від лабораторного стенду, від питомих витрат ПАР на обробку аглошихти.

Як видно з рис. 3, застосування розчинів ПАР для обробки аглошихти забезпечує зменшення заповненості аглогазів більш, ніж у 3 рази. Причому, найменші значення заповненості спостерігаються при витратах ПАР 60–70 г/т., що, в основному, співпадає з отриманими даними в дослідженні сил адгезії.

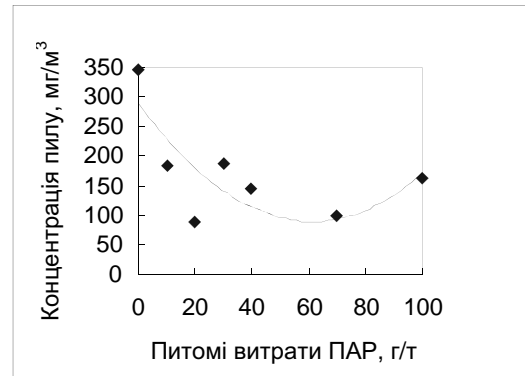


Рис. 3. Розподіл заповненості аглогазів при обробці аглошихти ПАР

**Висновки.** Таким чином, виконані нами дослідження сил адгезії в оброблених рідиною дисперсних матеріалах та їх зіставлення з даними стендових досліджень із грудкування та процесів спікання показали, що запропонований нами метод дослідження сил адгезії дозволяє встановлювати оптимальні параметри обробки сипучих матеріалів розчинами ПАР з метою зменшення заповненості аглогазів, які викидаються до атмосферного повітря, що забезпечує покращення екологічної ситуації у промисловому регіоні.

#### Список літератури / References

1. Снижение выбросов пыли при производстве агломерата / С.П. Фомин, В.Т. Агапова, А.Г. Шишачкий [и др.] // Екологічні проблеми гірничо-металургійного комплексу України за умов формування принципів збалансованого розвитку. Матеріали науково-практичної конференції. – К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2008. – С. 215–220.

Fomin, S.P., Agapova, V.T., Shishatskyi, A.G., Petliak, O.G. and Pitsyk, Yu.V. (2008), “Decreasing dust emission from sinter”, Proc. of theoretical and practical conference “*Ekologichni problemy girnycho-metalurgijnogo kompleksu Ukrainy za umov formuvannia pryntsyviv zbalansovanogo rozvytku*” [Ecological problems of mining and smelting branch under conditions of forming principles of balanced development.], Kyiv, 2008, pp. 215–220.

2. Основные направления защиты воздушного бассейна от выбросов вредных веществ аглофабриками Украины / Б.З. Теверовский, И.Б. Шелудько, С.Г. Демуш, В.Е. Яценко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1995. – № 1. – С. 86–89.

Teverovskiy, B.Z, Sheludko I.B., Demush S.G. and Yatsenko, V.Ye. (1995), “Fundamental direction of community air protection from emission of harmful substance by sintering plants in Ukraine”, *Metallurgicheskaja i gornorudnaia promyshlennost*, no.1, pp. 86–89.

3. Ширяева Н.И. Определение краевого угла, поверхностного натяжения и работы адгезии по параметрам лежащей капли, наблюдаемой сверху с помощью микроскопа / Н.И. Ширяева, В.К. Герасимов, Г.П. Вяткин // Коллоидный журнал. – 1995. – № 5. – С.764–768.

Shiryayeva, N.I., Gerasimov V.K. and Vyatkin, G.P. (1995), “Determination of the contact angle, surface tension, and work of adhesion from the top-view parameters of sessile drop observed in a microscope”, *Kolloidny Zhurnal*, no.5, pp. 764–768.

4. Пицык Ю.В. Пути повышения экологической безопасности в зоне влияния агломерационного производства / Ю.В. Пицык, А.Г. Шишацкий, В.Т. Агапова // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2012. – № 5. – С. 97–99.

Pitsyk, Yu.V., Shishatskiy, A.G. and Agapova, V.T. (2012), “Ways of improvement ecological safety in the affected zone of the agglomeration production”, *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost*, no.5, pp. 97–99.

**Цель.** Оптимизация параметров применения водных растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ) для уменьшения выбросов пыли в атмосферный воздух.

**Методика.** При проведении исследований использованы теоретические и экспериментальные методы, а именно: анализ существующих методов изучения объекта исследований, физическое моделирование, методы математической статистики, апробация в промышленных условиях.

**Результаты.** Разработан лабораторный стенд для определения силы адгезии при обработке сыпучих материалов растворами ПАВ. Показано, что величина силы адгезии, то есть „слипания“ сыпучих материалов, зависит от удельных расходов ПАВ, причем было выявлено наличие четкого оптимума этих расходов. Экспериментальными исследованиями на лабораторном стенде установлено, что для аглошихты, отобранной на аглофабрике ПАО „АрселорМиттал Кривой Рог“, оптимальные расходы ПАВ составляли 70–80 г/т. Эти данные подтверждены результатами исследований запыленности аглогазов при спекании аглошихты на стандартном лабораторном стенде и непосредственно на аглофабрике указанного предприятия. Данный метод рекомендуется для использования при определении параметров обеспыливания воздуха с помощью применения водных растворов ПАВ. Уменьшение концентрации пыли в технологических процессах работы аглофабрики повышает экологическую безопасность промышленных регионов с развитой металлургической и горнодобывающей отраслями промышленности.

**Научная новизна.** Разработан метод определения работы адгезии на лабораторном стенде. Опре-

делены оптимальные параметры обработки сыпучих материалов водными растворами ПАВ.

**Практическая значимость.** Результаты исследований предлагается использовать как методическую основу при установлении параметров, выборе средств и способов, разработке технологий и технических средств обеспыливания воздуха при технологических процессах получения, использования и переработки сыпучих материалов.

**Ключевые слова:** *запыленность, поверхностно-активные вещества, окомкование, аглошихта, адгезия*

**Purpose.** To optimize the parameters of application of surface-active substance water solution to reduce dust emission into the atmospheric air.

**Methodology.** For making an analysis, theoretical and experimental methods were used, namely analysis of the methods currently implemented in the studies of the target of the research, physical simulation, methods of mathematical statistics, approbation in industrial conditions.

**Findings.** Laboratory bench for determination of adhesive force in processing of bulk solids by surface-active substance solutions has been developed. We have shown that magnitude of adhesive force, i.e. ‘adhesion’ of bulk solids, depends on the discharge intensity of surface-active substance, the availability of clear optimum of this discharge has been found out. The experimental investigation at the laboratory bench has shown that for the sinter burden selected at the sintering plants of PJSC “ArselorMittal Kryvyi Rih”, the optimal discharge values were 70–80 gram/ton. These data were confirmed by the results of investigation of suspended materials concentration in sintering gas during sintering at the standard laboratory bench and directly at the sintering plant of the mentioned enterprise. The method is recommended for characterization of air dust elimination by means of surface-active substance water solution. Dust dilution in the process of sintering plant activity improves environmental safety of industrial regions with advanced metallurgical and mineral resource industry.

**Originality.** The method of work of adhesion on the laboratory bench has been developed. The optimal parameters of bulk solids processing by surface-active substance water solution have been determined.

**Practical value.** We suggest implementation of the research results as methodical basis for determination of parameters, selection of means and methods, technology and tools development of air dust elimination during production, utilisation and processing of bulk solids.

**Keywords:** *dust level, surface-active substance, suspended materials concentration, sinter burden, adhesion*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.І. Голіньком. Дата надходження рукопису 16.01.13.*